

Η εμβιομηχανική (biomechanics) είναι ίσως ο παλαιότερος τομέας της βιοϊατρικής τεχνολογίας με αναφορές που φτάνουν ως την αρχαία Ελλάδα. Η λέξη «εμβιομηχανική» χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1970 για να περιγράψει κάθε εφαρμογή της επιστήμης του μηχανικού στη βιολογία και την ιατρική.

Στην αρχαιότητα ο πατέρας της εμβιομηχανικής θεωρείται ότι είναι ο Αριστοτέλης. Στο έργο του, «Περί ζώων κινήσεως» περιγράφει την κίνηση των ζώων και αντιμετωπίζει τα σώματα σαν μηχανικά συστήματα. Τα πρώτα απλά παραδείγματα εμβιομηχανικής αποτελούν η μελέτη των δυνάμεων που ασκούνται στα άκρα, η αεροδυναμική της πτήσης των πτηνών και η υδροδυναμική της κίνησης των ψαριών. Γενικά η μελέτη της κίνησης των έμβιων οργανισμών αποτελεί ένα μεγάλο κομμάτι της εμβιομηχανικής μέχρι και σήμερα.

Κατά την αναγέννηση, ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι ήταν εκείνος που μελέτησε με μεγάλη λεπτομέρεια και με επιστημονικό τρόπο την μηχανική των σωμάτων των έμβιων οργανισμών. Μελέτησε σε βάθος την ανατομία και έβγαλε πρώιμα συμπεράσματα για την μετάδοση των δυνάμεων από τους μυς αλλά και για την λειτουργία των αρθρώσεων. Σε πολλές εφευρέσεις του μιμείται την φύση για να σχεδιάσει κινούμενες μηχανές.

Μια άλλη μεγάλη προσωπικότητα της αναγέννησης, ο Γαλιλαίος, ενδιαφερόταν ιδιαίτερα για την αντοχή και τη δομή των οστών. Ο Γαλιλαίος ήταν ο πρώτος που υπέθεσε ότι τα οστά δεν είναι συμπαγή αλλά έχουν πόρους, ώστε να εξασφαλίζουν τη μέγιστη αντοχή με το ελάχιστο βάρος. Μελετώντας επίσης πως αλλάζουν τα οστά σε διάφορα ζώα διαφορετικού μεγέθους, ήταν ο πρώτος που διατύπωσε ορισμένες αρχές της βιολογικής βελτιστοποίησης.

Μετά τον 19^ο αιώνα τα εργαλεία που είχαν στα χέρια τους οι επιστήμονες για την μελέτη των σωμάτων αυξήθηκαν ραγδαία. Έτσι, και η εμβιομηχανική γνώρισε μεγάλη άνθηση και ανάπτυξη και εξελίχθηκε σε μια σύγχρονη επιστήμη.^[4.1]

Η εμβιομηχανική είναι η επιστήμη που σκοπό έχει να αναπαραστήσει με μηχανικά μοντέλα τους έμβιους οργανισμούς. Η αναπαράσταση αυτή μπορεί να σχετίζεται με την λειτουργία ενός κυττάρου, ενός ιστού ή και ολόκληρου του οργανισμού. Για τον λόγο αυτό είναι κρίσιμο για την εμβιομηχανική να μελετά την μορφολογία και τις λειτουργίες των βιολογικών υλικών και στη συνέχεια να μετρά τις μηχανικές τους ιδιότητες και να τα αναπαριστά με μηχανικά μοντέλα.

Σε αντίθεση με την ιστομηχανική, τελικός σκοπός της εμβιομηχανικής είναι η ανάπτυξη υλικών και συστημάτων που θα υποστηρίζουν τις μηχανικές ιδιότητες των οργανισμών. Δεν είναι καθόλου απαραίτητο τα υλικά και τα συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν να είναι βιολογικά. Μπορεί να είναι οποιαδήποτε υλικά αρκεί να ικανοποιούν τις απαιτήσεις λειτουργίας του οργανισμού.

Στη συνέχεια θα εστιάσουμε στη μελέτη διαφόρων ιστών του ανθρώπινου σώματος που παίζουν σημαντικό ρόλο κυρίως στην κίνηση. Οι ιστοί αυτοί συνεργάζονται στενά μεταξύ τους για να αποδώσουν το σύνολο των πολύπλοκων κινήσεων που είναι δυνατό να πραγματοποιήσει το ανθρώπινο σώμα.

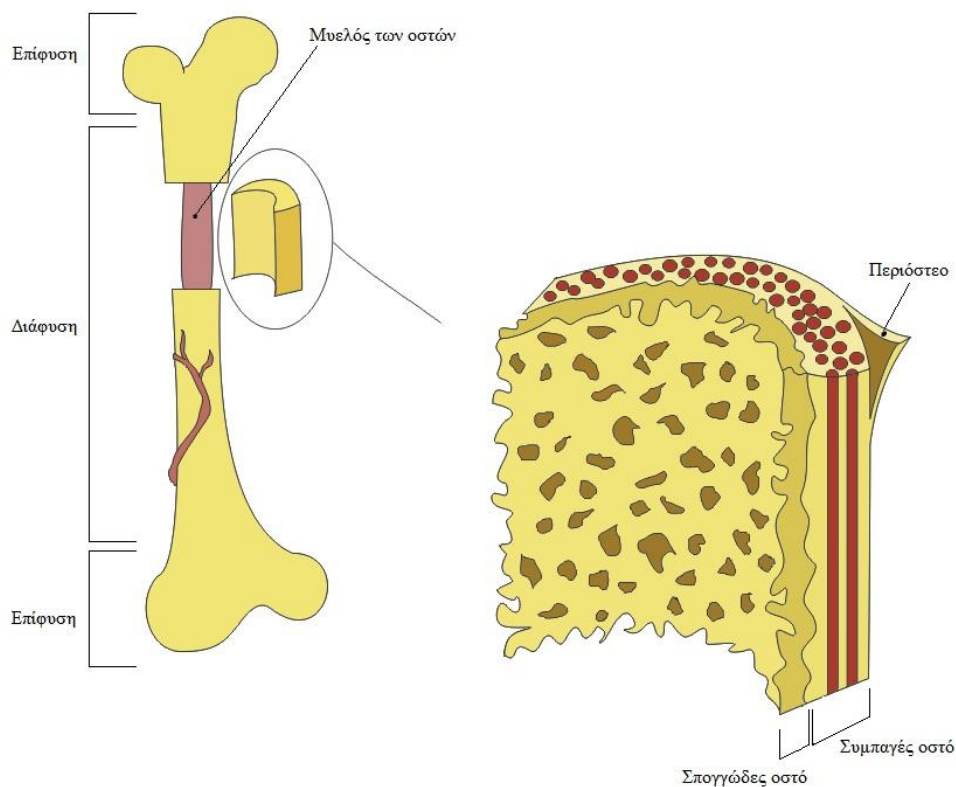
Οστό (bone)

Τα οστά είναι σκληροί συνδετικοί ιστοί που αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του σκελετού. Αποτελούνται τόσο από οργανικά μέρη (κύτταρα), όσο και από ανόργανα ή μεταλλικά μέρη.

Τα οστά είναι υπεύθυνα για διάφορες μηχανικές λειτουργίες του οργανισμού. Προσφέρουν την απαιτούμενη συνοχή για την στατική υποστήριξη του οργανισμού, την κίνησή του και την προστασία των εσωτερικών ζωτικών οργάνων. Επίσης, τα οστά συμμετέχουν και σε διάφορες λειτουργίες του οργανισμού όπως η παραγωγή ερυθρών αιμοσφαιρίων από το μυελό των οστών και η αποθήκευση απαραίτητων ανόργανων ιχνοστοιχείων.

Χαρακτηριστικό είναι ότι στο σκελετό αποθηκεύεται το 99% του ασβεστίου του οργανισμού. Το ασβέστιο, εκτός από σημαντικό δομικό συστατικό του σκελετού, είναι απαραίτητο και για μια σειρά από κρίσιμες μεταβολικές δραστηριότητες. Έτσι μπορεί τα οστά να στερηθούν ποσότητες ασβεστίου προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες του οργανισμού. Ανάμεσα στις ορμόνες που ρυθμίζουν την ισορροπία του ασβεστίου είναι οι ορμόνες του θυρεοειδή αδένος, η βιταμίνη D και διάφορες αναπαραγωγικές και αυξητικές ορμόνες.

Ο σκελετός ενός ενήλικου ανθρώπου αποτελείται από 206 οστά με διαφορετικές μορφολογίες. Παρά όμως τις μεγάλες διαφορές τους στο μέγεθος και το σχήμα, τα οστά έχουν γενικά την ίδια δομή και ανάπτυξη. Στη συνέχεια θα προχωρήσουμε στην περιγραφή ενός επιμήκους οστού, ως χαρακτηριστικό παράδειγμα.



Εικόνα 4.1: Δομή οστού.

Στα επιμήκη οστά, όπως το οστό του μηρού, μπορούμε να διακρίνουμε γενικά τις περιοχές της επίφυσης και την περιοχή της διάφυσης. Η επίφυση βρίσκεται στο άκρο του οστού και συνήθως προστατεύεται με ένα λεπτό στρώμα υαλώδους ιστού, τον χόνδρο. Ο επίφυση είναι η περιοχή του οστού που έρχεται σε επαφή με άλλα οστά και συνδέεται μαζί τους μέσω των αρθρώσεων.

Ανάμεσα στα δύο μέρη της επίφυσης βρίσκεται ο άξονας του επιμήκους οστού που ονομάζεται διάφυση. Η διάφυση έχει τη δομή κοίλου σωλήνα και μέσα στην κοιλότητα της βρίσκεται ο μυελός των οστών. Γενικά, η κοιλότητα αυτή δεν υπάρχει σε επίπεδα οστά και σε πολύ μικρά οστά πολύπλοκου σχήματος.

Το οστό περιβάλλεται σε όλη την ελεύθερη επιφάνειά του, εκτός δηλαδή από τις περιοχές που περιβάλλονται από χόνδρο, από έναν σκληρό, ινώδη και γεμάτο αγγεία ιστό που ονομάζεται περίοστεο. Η εξωτερική επιφάνεια του περιόστεου συνδέεται με πολλά εξωτερικά αιμοφόρα αγγεία και νεύρα, μερικά από τα οποία εισέρχονται μέχρι το εσωτερικό του οστού. Η εσωτερική επιφάνεια του περιόστεου συνδέεται ισχυρά με το οστό με ίνες κολλαγόνου που εισχωρούν σε βάθος σε αυτό. Μερικές ίνες του περιόστεου συνδέονται με ίνες από τους τένοντες και έτσι παρέχουν ισχυρή σύνδεση με τους μύες. Ομοίως γίνεται και η σύνδεση των οστών με τους συνδέσμους.

Το κυρίως σώμα του οστού διακρίνεται γενικά σε δύο κατηγορίες. Αφενός, έχουμε το συμπαγές οστό (cortical or compact bone), το οποίο αποτελείται από ισχυρό και πυκνό ιστό. Το συμπαγές οστό βρίσκεται συνήθως στα εξωτερικά τοιχώματα της διάφυσης και στις λείες εξωτερικές επιφάνειες όλων των οστών. Το πάχος του συμπαγούς οστού κυμαίνεται από οστό σε οστό, αλλά και μέσα στο ίδιο οστό, ανάλογα με τις απαιτήσεις αντοχής του υπάρχουν. Αυτό το είδος οστού είναι σκληρό, ισχυρό και ανθίσταται σε κάμψη και λυγισμό.

Από την άλλη πλευρά υπάρχει και το σπογγώδες οστό (cancellus or spongy bone). Αυτό το είδος οστού είναι πορώδες και αποτελείται από μικρές οστέινες βελόνες που προεξέχουν προς το κέντρο του οστού. Οι βελόνες αυτές έχει παρατηρηθεί ότι προσανατολίζονται στη διεύθυνση των εξωτερικών φορτίων, έτσι ώστε να εξασφαλίζουν τη μεγαλύτερη δυνατή αντοχή με το μικρότερο βάρος για κάθε οστό. Οι περιοχές με σπογγώδη οστό είναι συνήθως η επίφυση και το εσωτερικό τοίχωμα της διάφυσης. Επίσης βρίσκεται σε μικρά οστά και ανάμεσα σε δύο περιοχές συμπαγούς οστού στα επίπεδα οστά, σχηματίζοντας έτσι δομή σάντουιτς. Τα σπογγώδη οστά είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά σε θλίψη.

Όπως είδαμε και στην αρχή, τα οστά αποτελούνται από δύο διαφορετικά είδη υλικών, τα οργανικά και τα ανόργανα. Η οργανική μήτρα των οστών αποτελείται κατά 95% από ίνες κολλαγόνου, ενισχυμένες από εναποθέσεις ασβεστίου και φωσφορικών αλάτων σε μορφή υδροξυαπατίτη (hydroxyapatite). Οι εναποθέσεις αυτές δίνουν στο οστό αντοχή, σκληρότητα και ακαμψία, ενώ οι ίνες κολλαγόνου του προσφέρουν μια περιορισμένη ευλυγισία.

Σε ότι αναφορά την ανάπτυξη των οστών κατά τη διάρκεια της ζωής μας, έχει αποδειχθεί ότι οι εξωτερικές επιδράσεις την επηρεάζουν σημαντικά. Εξωτερικά μηχανικά φορτία, βιοχημικά ερεθίσματα και ηλεκτρομαγνητικά φορτία μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την πορεία της ζωής διαφόρων ιστών, ανάμεσά τους και τα οστά.

Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι τα οστά αντιδρούν σε εξωτερικά ερεθίσματα, π.χ. άσκηση, και εσωτερικά ερεθίσματα, π.χ. παραγωγή ορμονών, οπότε κατά τη διάρκεια της ζωής η οστέινη μάζα του σώματος ενός ανθρώπου μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί. Οι σημαντικότεροι παράγοντες, των οποίων την επίδραση στα οστά θα εξετάσουμε εδώ, είναι η άσκηση, η ακινησία και το γήρας.

➤ Άσκηση.

Αρχικά, ήταν ευρέως διαδεδομένη η άποψη ότι κατά τη διάρκεια της ενήλικης ζωής δεν μπορεί να αυξηθεί η οστέινη μάζα ενός οργανισμού. Όμως έρευνες που έγιναν απέδειξαν ότι η οστέινη μάζα μπορεί να αυξηθεί περιορισμένα ως αποτέλεσμα εξωτερικού ερεθίσματος, όπως αυξημένα μηχανικά φορτία.

Επίσης, αποδείχθηκε ότι η ύπαρξη εξωτερικών μηχανικών φορτίων είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η οστέινη μάζα, καθώς η ακινησία και γενικά τα χαμηλά φορτία μπορεί να οδηγήσουν σε εκτεταμένες απώλειες. Έτσι, ήπια άσκηση συστήνεται σε όλου τους ανθρώπους, όχι μόνο για να αυξήσουν την οστέινη μάζα τους, αλλά και για να περιορίσουν τις απώλειες που μπορεί να οφείλονται σε παθολογικούς παράγοντες ή απλά στην πάροδο του χρόνου.

Σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε ότι, ανάλογα με το είδος της άσκησης, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι εμφανή σε ορισμένα οστά και σε άλλα ανύπαρκτα. Η επίδραση, λοιπόν, της άσκησης αφορά τα συγκεκριμένα οστά τα οποία δέχονται την αυξημένη φόρτιση και όχι όλα τα οστά του σώματος. Έτσι, παρατηρείται σε παίκτες του τένις περίπου 45% αύξηση στο οστό του βραχίονα στο χέρι με το οποίο παίζουν σε σχέση με το άλλο χέρι.

Παρατηρούμε επίσης ότι η επίδραση της άσκησης είναι γενικά βραχυπρόθεσμη. Αυτό σημαίνει ότι διακοπή της άσκησης οδηγεί σε διακοπή της ωφέλειας. Από την άλλη πλευρά, συνεχόμενη άσκηση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά οφέλη και μετά από αρκετά χρόνια η οστέινη μάζα ενός ατόμου που ασκείται συστηματικά μπορεί να είναι σημαντικά πιο αυξημένη σε σχέση με ένα άτομο που δεν ασκείται.

Φυσικά και στην επίδραση της άσκησης στην ανάπτυξη των οστών ισχύει η ρήση «παν μέτρον άριστον». Έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει ένα όριο πάνω από το οποίο εντονότερη άσκηση και με μεγαλύτερη διάρκεια, όχι απλώς δεν έχει καμία επίδραση, αλλά δυσχεραίνει και την φυσιολογική ανάπτυξη σε οργανισμούς πριν την ενηλικίωση. Επίσης, έντονη άσκηση μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση μικρορωγμών την επιφάνεια του οστού. Οι μικρορωγμές αυτές, εν τέλει, οδηγούν σε θραύση του οστού ακόμα και σε χαμηλά φορτία. Αυτού του είδους τα ατυχήματα είναι ιδιαίτερα συχνά σε αθλητές της γυμναστικής.

➤ Ακινησία.

Ακριβώς όπως τα εξωτερικά μηχανικά φορτία στην άσκηση οδηγούν σε αύξηση της οστέινης μάζας, έτσι και η πλήρης ακινησία και έλλειψη εξωτερικών φορτίων οδηγούν σε απώλεια οστέινης μάζας. Μάλιστα έχει παρατηρηθεί ότι ο ρυθμός με τον οποίο χάνεται η οστέινη μάζα είναι ταχύτερος από τον ρυθμό με τον οποίο επανακάμπτει παρουσία φορτίου. Επίσης, είναι πιθανό κάποια οστά να μην επανέλθουν ποτέ πλήρως μετά από παρατεταμένη ακινησία.

Οι αιτίες της ακινησίας μπορεί να περιλαμβάνουν την αναγκαστική ακινησία ασθενούς, την πτήση στο διάστημα έξω από πεδία βαρύτητας κ.λπ. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται πρόβλεψη για την απώλεια της οστέινης μάζας, το άτομο να ενημερωθεί για τους εμπλεκόμενους κινδύνους και να γίνει μια πρόβλεψη του τρόπου ανάκαμψης μετά το πέρας της ακινησίας.

Η απώλεια οστέινης μάζας είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για δύο βασικούς λόγους. Ο πρώτος είναι προφανής και αφορά τον κίνδυνο καταγμάτων και τραυματισμού. Ο δεύτερος έχει να κάνει με την ισορροπία των ανόργανων στοιχείων στον οργανισμό. Καθώς μειώνεται η οστέινη μάζα, μεγάλο μέρος των ιχνοστοιχείων και κυρίως του ασβεστίου που έχει αποθηκευθεί στα οστά χάνεται από τον οργανισμό με κίνδυνο να προκληθούν περεταίρω βλάβες και να εμποδιστεί η σωστή λειτουργία του.

Ακόμα, η απώλεια της οστέινης μάζας πλήττει περισσότερο τα συμπαγή οστά, ενώ αυξάνει το πορώδες και κατά συνέπεια κάνει τα οστά πιο εύθραυστα. Επίσης, η επίδραση της ακινησίας είναι σαφώς μεγαλύτερη στους ενήλικους οργανισμούς, ενώ στους οργανισμούς που βρίσκονται σε φάση ανάπτυξης μπορεί να αποτελέσει σημαντικό ανασταλτικό παράγοντα.

➤ Γήρας.

Γενικά δεν είναι ακόμα γνωστό σε ποια ηλικία εμφανίζεται η μέγιστη οστέινη μάζα στον άνθρωπο. Σε κάθε περίπτωση, οι επιστήμονες την προσδιορίζουν γύρω στα 30 χρόνια, ενώ για μια ακόμα δεκαετία, μέχρι τα 40, η οστέινη μάζα θεωρείται ότι παραμένει σχεδόν αμετάβλητη υπό φυσιολογικές συνθήκες. Στη συνέχεια παρατηρείται μια συνεχόμενη μείωση της οστέινης μάζας και μάλιστα με αρκετά υψηλό ρυθμό. Συγκεκριμένα, στις γυναίκες παρατηρείται μια τεράστια απώλεια οστέινης μάζας κατά την περίοδο της εμμηνόπαυσης, ενώ μετά το πέρας αυτής ο ρυθμός μείωσης επανέρχεται στα προηγούμενα επίπεδα.

Μέχρι την ηλικία των 90, οι γυναίκες αναμένεται να έχουν χάσει ένα 20 με 40% της συνολικής οστέινης μάζας τους, ενώ οι άντρες αναμένεται έχουν χάσει αντίστοιχα ένα 5 με 10% αυτής. Παρατηρούμε λοιπόν ότι το γήρας επιδρά πιο έντονα στην οστέινη μάζα των γυναικών, πιθανώς λόγω ορμονικών παραγόντων. Για το λόγο αυτό, είναι πολύ πιο συχνά τα κατάγματα σε ηλικιωμένες γυναίκες από ότι σε ηλικιωμένους άντρες.

Τένοντας (tendon)

Ο τένοντας είναι ένας πυκνός, ινώδης ιστός με βασική λειτουργία να συνδέει τους μύες πάνω στα οστά. Οι τένοντες μπορεί να βρεθούν στο οργανισμό σε μεγάλη ποικιλία μορφών και μεγεθών, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τόσο του οστού, όσο και του μυ που συνδέουν. Συνήθως ο τένοντας είναι γυαλιστερός, λευκού χρώματος και μπορεί να πάρει τη μορφή λεπτού κορδονιού ή εκτενούς φύλλου.

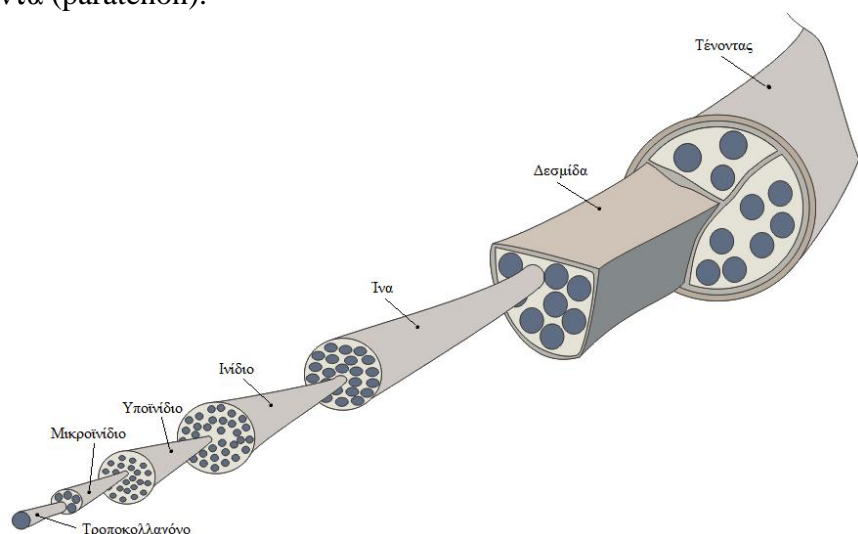
Ο τένοντας μπορεί να περιορίζεται καθώς διασχίζει μια άρθρωση, είτε από οστέινες προεξοχές, είτε από ειδικό συνδετικό ιστό. Αυτοί οι περιορισμοί βοηθούν να διατηρείται ο προσανατολισμός του τένοντα κατά την κίνηση των αρθρώσεων και να αποφεύγεται τραυματισμός του.

Παρά την ποικιλία των σχημάτων και των μορφών, κάθε τένοντας έχει τρεις βασικές περιοχές. Την ένωση του τένοντα με το μύα, τον κυρίως τένοντα και την ένωση του τένοντα με το οστό.

Ο τένοντας αποτελείται κατά κύριο λόγο από ίνες κολλαγόνου, ενσωματωμένες σε μια υδατική ουσία με υφή γέλης (gel). Το κολλαγόνο, που είναι αναμφισβήτητα βασική δομική πρωτεΐνη σε όλους τους οργανισμούς, αποτελεί το 70 με 80% της ξηρής μάζας του τένοντα.

Όταν τρεις έλικες κολλαγόνου ενωθούν μεταξύ τους με ισχυρούς δεσμούς σχηματίζουν ένα σύμπλεγμα πρωτεϊνών με ινώδη μορφή, που ονομάζεται τροποκολλαγόνο (tropocollagen). Κάθε μόριο τροποκολλαγόνου έχει μήκος περίπου 280nm οπότε για να σχηματιστούν μακρύτερες ίνες ενώνονται μεταξύ τους, με ομοιοπολικούς δεσμούς, περισσότερα μόρια.

Στη συνέχεια, πέντε μακρομόρια τροποκολλαγόνου σχηματίζουν ένα μικροϊνίδιο (microfibril). Τα μικροϊνίδια συνενώνονται μεταξύ τους σχηματίζουν ένα υποϊνίδιο (subfibril). Πολλά υποϊνίδια ενώνονται και σχηματίζουν ένα ινίδιο (fibril). Τα ινίδια, με τη σειρά τους, σχηματίζουν μια ίνα (fiber) και πολλές ίνες μαζί σχηματίζουν μια δεσμίδα (fascicle). Η δεσμίδα περιβάλλεται από τον ενδοτένοντα (endotenon), ένα στρώμα συνδετικού ιστού που περιλαμβάνει αιμοφόρα αγγεία και νεύρα. Τα κύτταρα του τένοντα διατάσσονται κατά μήκος των ινών. Τέλος ομάδες δεσμίδων περιβάλλονται από έναν άλλο ιστό τον επιτένοντα (epitenon) και η συνολική διάταξη περιβάλλεται από τον εξωτερικό ιστό του τένοντα, τον παρατένοντα (paratenon).



Εικόνα 4.2: Δομή τένοντα.

Σε αντίθεση με τα οστά, ο τένοντας βρίσκεται συνεχώς σε δυναμική ισορροπία. Αυτό σημαίνει ότι συνεχώς δημιουργείται και καταστρέφεται ιστός, διατηρώντας όμως μια ισορροπία. Η ισορροπία αυτή μπορεί να διαταραχθεί από διάφορες αιτίες, όπως η άσκηση, η ακινησία, το γήρας και διάφορα φάρμακα.

➤ Άσκηση.

Μέχρι και σήμερα δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τον τρόπο με τον οποίο η άσκηση επηρεάζει την ανάπτυξη του τένοντα. Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι αυξημένη δραστηριότητα αυξάνει τον όγκο του τένοντα, αλλά και την παραγωγή κολλαγόνου σε αυτόν. Σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με το είδος της άσκησης και τον τύπο των μυών που αλληλεπιδρούν, φαίνεται να επηρεάζονται και οι ανάλογοι τένοντες. Επίσης, τα αποτελέσματα φαίνεται να είναι διαφορετικά σε ενήλικους οργανισμούς και οργανισμούς που αναπτύσσονται, καθώς εκεί συμβάλλουν διάφοροι ανταγωνιστικοί παράγοντες.

➤ Ακινησία.

Γενικά, οι έρευνες δείχνουν ότι ο τένοντας δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα από την ακινησία. Όταν μεταφέρεται έστω και το παραμικρό φορτίο, τότε ο τένοντας φαίνεται να διατηρείται κανονικά σε δυναμική ισορροπία. Αν το εξωτερικό φορτίο εκλείψει πλήρως, τότε παρατηρείται μείωση στην διακίνηση κολλαγόνου από τον ιστό, αλλά η συνολική του σύσταση παραμένει αμετάβλητη.

Ένας παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα αρνητικά τους τένοντες είναι τα φάρμακα και συγκεκριμένα τα στεροειδή αναβολικά. Σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, τα αναβολικά αυτά μειώνουν την παραγωγή του κολλαγόνου και έχουν σαν συνέπεια την εξασθένηση του τένοντα και τον εύκολο τραυματισμό του.

➤ Γήρας.

Οι μηχανικές ιδιότητες και η σύσταση του τένοντα επηρεάζονται σημαντικά από την ηλικία. Σε μικρές ηλικίες και όσο ο οργανισμός αναπτύσσεται, ο τένοντας είναι πολύ πιο ελαστικός. Οι ιδιότητές του σταθεροποιούνται και φθάνει στη μέγιστη αντοχή ανάμεσα στα 20 και 30 χρόνια, οπότε και η απόδοση των μυών είναι η μέγιστη. Στη συνέχεια μέχρι τα 50 η αντοχή του μειώνεται με αργούς ρυθμούς, ενώ μετά τα 65 παρουσιάζονται συχνές ενοχλήσεις και τραυματισμοί, αφού η αντοχή μειώνεται σημαντικά.

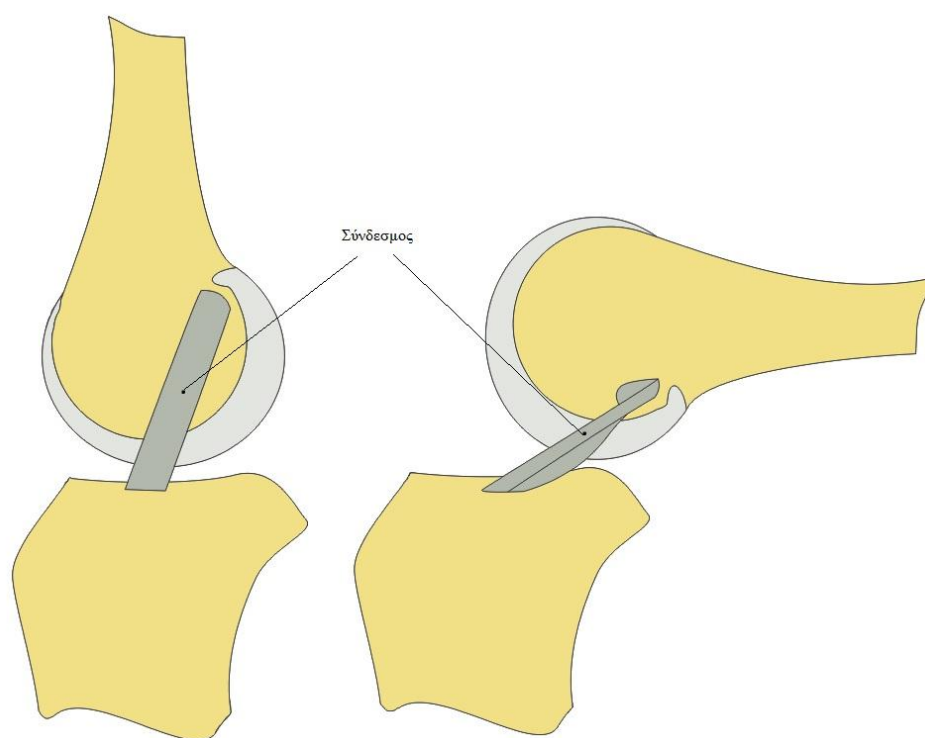
Σύνδεσμος (ligament)

Ο σύνδεσμος έχει τρεις κύριες λειτουργίες στον οργανισμό. Πρώτον, να φέρνει σε επαφή τα οστά που συμμετέχουν σε μια άρθρωση, δεύτερον να καθοδηγεί την κίνηση της άρθρωσης, μην επιτρέποντας την αποσύνδεσή της και τρίτον να λειτουργεί ως αισθητήρας για την αποφυγή υπερφόρτισης ή διάλυσης της άρθρωσης.

Το κολλαγόνο είναι το κύριο συστατικό του συνδέσμου, όπως έχουμε δει παραπάνω και στον τένοντα. Όπως και στην περίπτωση του τένοντα, σχηματίζεται τροποκολλαγόνο (tropocollagen), το οποίο συνδέεται και σχηματίζει μικροϊνίδια (microfibril). Τα μικροϊνίδια συνδέονται και σχηματίζουν υποϊνίδια (subfibril), τα οποία συνδέονται και σχηματίζουν ινίδια (fibril). Τα ινίδια τέλος σχηματίζουν ίνες (fiber) που έχουν διάμετρο 50 με 300μm και αποτελούν το βασικό δομικό συστατικό των συνδέσμων.

Οι ίνες του συνδέσμου συγκρατούνται χαλαρά μεταξύ τους από τον συνδετικό ιστό που τις περιβάλλει και ονομάζεται επισύνδεσμος (epiligament). Ο ιστός αυτός περιλαμβάνει μια πληθώρα από διαφορετικά κύτταρα, καθώς επίσης νεύρα και αιμοφόρα αγγεία.

Παρακάτω βλέπουμε σχηματικά τη συμβολή του συνδέσμου στην κίνηση της άρθρωσης. Ο σύνδεσμός συγκρατεί τα οστά στην άρθρωση ενώ μέχρι ένα όριο μπορεί να παραλάβει και μικρά φορτία που δεν μπορούν να παραληφθούν από την άρθρωση.



Εικόνα 4.3: Λειτουργία συνδέσμου.

Έως και πριν από μερικές δεκαετίες δεν υπήρχαν εμπεριστατωμένα στοιχεία και οι επιστήμονες πίστευαν ότι το φορτίο δεν έχει καμία επίδραση στην ανάπτυξη των συνδέσμων των αρθρώσεων. Σήμερα όμως γνωρίζουμε ότι οι σύνδεσμοι των αρθρώσεων προσαρμόζονται στις εξωτερικές συνθήκες φόρτισης και επηρεάζονται από την παρατεταμένη ακινησία.

➤ Άσκηση.

Το πλέον εμφανές αποτέλεσμα της άσκησης στους συνδέσμους είναι η αύξηση της αντοχής τους. Γενικά, έχει αποδειχθεί ότι οι καθημερινές δραστηριότητες επαρκούν για να διατηρήσουν τους συνδέσμους σε μια υγιή κατάσταση, ενώ επιπλέον άσκηση έχει περιορισμένα οφέλη.

Από τις μελέτες που έχουν γίνει φαίνεται ότι η άσκηση μπορεί να επηρεάσει σε μικρή κλίμακα τη βιοχημική σύσταση του συνδέσμου. Κυρίως επηρεάζει την ανάπτυξη και διακίνηση του κολλαγόνου με συνέπεια να αλλάζει η συνολική ελαστικότητα και αντοχή του ιστού.

Τέλος, έρευνες έχουν δείξει ότι σε περίπτωση τραυματισμού του συνδέσμου η επαναφορά στη φυσιολογική κατάσταση γίνεται ταχύτερα παρουσία ήπιας φόρτισης. Τα συμπεράσματα αυτά προκύπτουν σε σύγκριση με την επαναφορά συνδέσμων στους οποίους δεν επιβλήθηκε καμία δραστηριότητα.

➤ Ακινησία.

Η επιβεβλημένη ακινησία των αρθρώσεων ή η έλλειψη εξωτερικού φορτίου προκαλούν ταχύτερη φθορά του συνδέσμου, ενώ οι βιοχημικές και μηχανικές ιδιότητές του χειροτερεύουν.

Η ακινησία έχει γενικά σαν συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσης και της διακίνησης του κολλαγόνου στον ιστό. Αυτό μειώνει την ελαστικότητα και την αντοχή του και τον κάνει πιο επιρρεπή σε τραυματισμούς. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι σε περιπτώσεις ακινησίας χάνεται μεγάλο μέρος από το νερό που συγκρατείται στον ιστό. Δεδομένου ότι φυσιολογικά το νερό αποτελεί τα δύο τρίτα κατά βάρος του ιστού, η έλλειψη νερού έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα την δυσλειτουργία του.

Γενικά, λόγω της ακινησίας ο ιστός γίνεται εύθραυστος και αστοχεί σε πολύ μικρότερα φορτία από ότι φυσιολογικά. Ακόμα, η αστοχία προκύπτει συνήθως στο σημείο ένωσης του συνδέσμου με το οστό και όχι στο σώμα του συνδέσμου. Αυτό πιθανώς σχετίζεται και με την παράλληλη απώλεια οστέινης μάζας που παρατηρείται σε περιπτώσεις ακινησίας.

Οι συνέπειες της ακινησίας θεωρούνται γενικά αναστρέψιμες στην περίπτωση των συνδέσμων. Μάλιστα η ανάκαμψη των συνδέσμων είναι σχετικά πιο γρήγορη και εύκολη από αυτή των οστών. Σε κάθε περίπτωση πάντως μακροχρόνια ακινησία μπορεί να κάνει τους συνδέσμους εύθραυστους, να οδηγήσει σε τραυματισμό της άρθρωσης και σε επακόλουθο τραυματισμό των οστών ή σε μόνιμη καταστροφή του χόνδρου που καλύπτει τα οστά.

➤ Γήρας.

Με την πάροδο του χρόνου οι σύνδεσμοι των αρθρώσεων επηρεάζονται σημαντικά. Χάνουν μέρος από το νερό που συγκρατούν και η δομή του κολλαγόνου αλλάζει. Έτσι μειώνεται η ελαστικότητα και αυξάνεται η τριβή μεταξύ των μερών οδηγώντας σε ακόμα μεγαλύτερη φθορά. Επίσης, με την πάροδο του χρόνου αλλάζει και η δομή των οστών με αποτέλεσμα η σύνδεση μεταξύ των συνδέσμων και των οστών να γίνεται πιο ευαίσθητη.

Μυς (muscle)

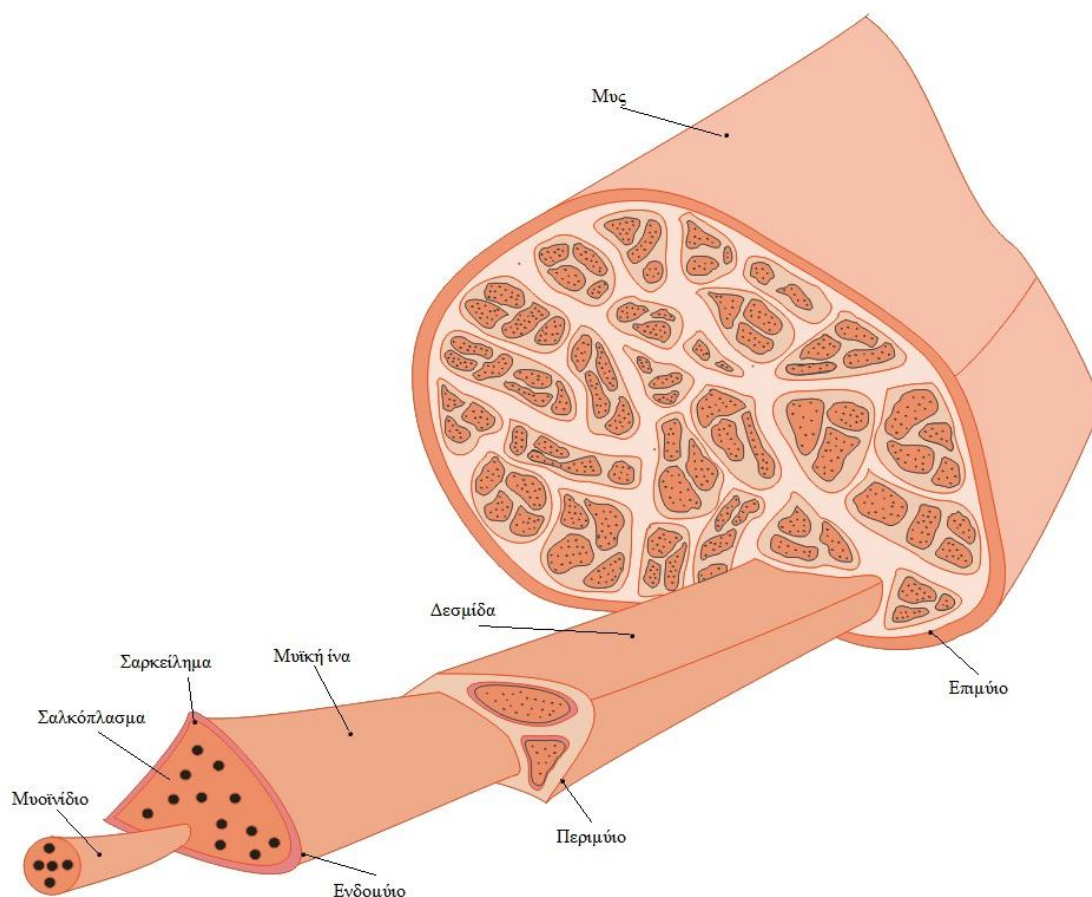
Η πλέον βασική και χρήσιμη ιδιότητα του μυϊκού ιστού είναι η ικανότητά του να παράγει δυνάμεις. Η ιδιότητα αυτή παραμένει σχετικά ανεξίτηλη μέχρι τις μέρες μας καθώς δεν γνωρίζουμε πλήρως τον μηχανισμό με τον οποίο πραγματοποιείται η συστολή των μυών. Στο παρόν κεφάλαιο δεν θα ασχοληθούμε με λεπτομέρεια με το μηχανισμό αυτό, αλλά θα μιλήσουμε γενικά για την δομή και τις λειτουργίες του μυϊκού ιστού.

Λόγω της ιδιότητας των μυών να συστέλλονται παρουσία ηλεκτροχημικών ερεθισμάτων, οι μηχανικές τους ιδιότητες είναι γενικά πιο δύσκολο να προσδιοριστούν και απαιτούνται πολύπλοκες διαδικασίες. Στην περίπτωση των οστών ή των συνδέσμων οι μηχανικές ιδιότητες μετρώνται σχετικά εύκολα με απλά πειράματα εφελκυσμού. Αντίθετα στην περίπτωση των μυών θα πρέπει να λαμβάνεται συνεχώς υπόψη η ενεργητική συμπεριφορά τους παρουσία εξωτερικών ερεθισμάτων.

Ακόμα η μελέτη των μυών μπορεί να έχει δύο εντελώς διαφορετικούς σκοπούς. Στους μύες μπορεί να μελετάμε την δύναμη που παράγουν για να προσδιορίσουμε την κίνηση και τα φορτία που μεταφέρονται στις αρθρώσεις ή για να προσδιορίσουμε πιθανούς μηχανισμούς με τους οποίους ελέγχεται η κίνηση.

Ο μυϊκός ιστός παρουσιάζει γενικά υψηλό βαθμό οργάνωσης και είναι ιδιαίτερα δομημένος σε αντίθεση με άλλους ιστούς του σώματος. Επίσης, παρατηρείται ότι κάθε τμήμα της δομής του μυ σχετίζεται και με ορισμένες ανεξάρτητες λειτουργίες από την σύνθεση των οποίων γίνεται δυνατή η κίνηση και άσκηση δυνάμεων από τους μύες.

Ο κυριότερος διαχωρισμών των μυών γίνεται σε γραμμωτούς και λείους μύες. Οι γραμμωτοί μύες διαχωρίζονται περαιτέρω σε σκελετικούς και καρδιακούς μύες. Το χαρακτηριστικό των καρδιακών και των λείων μυών είναι ότι δεν ελέγχονται συνειδητά όπως οι σκελετικοί μύς και ο άνθρωπος δεν μπορεί να κατευθύνει, ούτε να διακόψει τη λειτουργία τους. Η εμβιομηχανική ασχολείται περισσότερο με τους σκελετικούς μύες που είναι υπεύθυνοι για την κίνηση του σώματος και την εμφάνιση δυνάμεων. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια θα εστιάσουμε στους σκελετικούς μύες.



Εικόνα 4.4: Δομή μυός.

Ο μυϊκός ιστός παρουσιάζει μια σειρά από εμφωλευμένες δομές, ακριβώς όπως ο τένοντας και ο σύνδεσμος που είδαμε παραπάνω. Αρχικά, ένας μυς περιβάλλεται συνήθως από ένα ανθεκτικό ιστό σε μορφή λωρίδας (fascia) και ένα ακόμη στρώμα συνδετικού ιστού που ονομάζεται επιμύιο (epimysium). Το επιμύιο περιέχει ίνες κολλαγόνου διαφόρων τύπων, κύτταρα συνδετικού ιστού και λίπος άτακτα κατανεμημένα στη μάζα του.

Η αμέσως επόμενη μικρότερη δομή ονομάζεται δεσμίδα (fascicle) και αποτελείται από έναν αριθμό μυϊκών ινών (muscle fibres), οι οποίες περιβάλλονται από ένα άλλο στρώμα συνδετικού ιστού που ονομάζεται περιμύιο (perimysium). Το περιμύιο αποτελείται κυρίως από κολλαγόνο.

Οι μυϊκές ίνες είναι στην πραγματικότητα τα μυϊκά κύτταρα που περιβάλλονται από μια εύθραυστη κυτταρική μεμβράνη, το σαρκεύλημα (sarcolemma) και έναν συνδετικό ιστό που ονομάζεται ενδομύδιο (endomysium). Το κυτταρόπλησμα των μυϊκών ινών ονομάζεται σαρκόπλασμα (sarcoplasm).

Ανάμεσα στα κύτταρα των μυϊκών ινών διατάσσονται, παράλληλα αναμεταξύ τους, τα μυοϊνίδια (myofibrils). Αυτή τους η παράλληλη διάταξη δίνει στο μυ την χαρακτηριστική γραμμωτή του όψη. Κάθε ομάδα από παράλληλα διατεταγμένα μυοϊνίδια αποτελεί ένα σαρκομερές (sarcomere), δηλαδή τη βασική συστολική μονάδα του μυ. Τα σαρκομερή περιέχουν τόσο ινίδια ακτίνης (actin filaments), όσο και ινίδια μυοσύνης (myosin filaments). Από την συνεργασία της μυοσύνης με την ακτίνη προκύπτει ο μηχανισμός συστολής των μυών που σε γενικές γραμμές περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.

Οι σκελετικοί μύες οργανώνονται μέσα στο σώμα σε μονάδες κίνησης. Μια μονάδα κίνησης ορίζεται ως το σύνολο των μυϊκών ινών που λαμβάνουν σήματα από τον ίδιο νευρώνα. Μια μικρή μονάδα κίνησης σε ένα μυ που πραγματοποιεί λεπτές κινήσεις μπορεί να αποτελείται μόλις από μερικές δεκάδες μυϊκές ίνες. Από την άλλη πλευρά μεγάλες μονάδες κίνησης που μεταφέρουν μεγάλα φορτία μπορεί να αποτελούνται από μερικές χιλιάδες μυϊκές ίνες. Σε κάθε περίπτωση μόλις ο αντίστοιχος νευρώνας δώσει το απαιτούμενο ερέθισμα όλες οι μυϊκές ίνες μιας μονάδας κίνησης συστέλλονται ταυτόχρονα. Η δύναμη της συστολής σε κάθε μονάδα κίνησης είναι ανάλογη του αριθμού των μυϊκών ινών που αυτή περιλαμβάνει.

Από έρευνες που έχουν γίνει παρατηρήθηκε ότι υπάρχουν μεγάλες διαφορές στο μέγεθος των μονάδων κίνησης, όχι μόνο από τον ένα μυ στο άλλο, αλλά και εντός του ίδιου μυός. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι ανάλογα με το μέγεθος της μονάδας, άλλαζε και η ταχύτητα της απόκρισης τους αλλά και ο τύπος του νευρώνα που παρείχε το ερέθισμα. Έτσι μια σταδιακή συστολή αποδείχθηκε ότι επιτυγχάνεται από την σταδιακή ενεργοποίηση πρώτα των μικρών και στη συνέχεια των μεγάλων κινητικών μονάδων, ανάλογα με τις απαιτήσεις σε δύναμη. Επομένως, η δομή με την οποία συγκροτείται το μυϊκό σύστημα καθορίζει, όχι μόνο τη συνολική δύναμη που μπορεί να αποδώσει, αλλά και την ταχύτητα με την οποία μπορεί να την αποδώσει.

Μια περεταίρω διάκριση διαχωρίζει τους σκελετικούς μυς σε τέσσερεις κατηγορίες. Κατ' αρχήν έχουμε τον σφιγκτήρα μυ που βρίσκονται σε φυσικές οπές του σώματος, όπως το στόμα. Επίσης, μια δεύτερη κατηγορία είναι ο πλατύς μυς που είναι γενικά επίπεδος και μπορεί να βρίσκεται στη ράχη, το θώρακα ή την κοιλιά. Ακόμα, έχουμε τον λεγόμενο βραχύ μυ που βρίσκεται κοντά στις αρθρώσεις, στην σπονδυλική στήλη και γενικά όπου πραγματοποιούνται κινήσεις μικρής έκτασης που απαιτούν μεγάλη δύναμη. Τέλος, έχουμε τον μακρύ μυ που βρίσκεται κυρίως στα άνω άκρα, όπου πραγματοποιούνται κινήσεις μεγάλης έκτασης με σχετικά μικρή δύναμη.^[4.2]

Οι μέθοδοι με τις οποίες προσδιορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες των βιολογικών ιστών δεν διαφέρουν γενικά από τις κλασικές μεθόδους για τα συνήθη υλικά. Από την άλλη πλευρά όταν οι μετρήσεις γίνονται απευθείας σε έμβιους οργανισμούς, τότε χρησιμοποιούνται διάφοροι αισθητήρες και απαιτείται προσοχή στον τρόπο με τον οποίο θα ληφθούν οι μετρήσεις.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε πολύ συνοπτικά τον τρόπο με τον οποίο γίνονται μετρήσεις διαφόρων μεγεθών στην εμβιομηχανική.

Μέτρηση δύναμης

Για τη μέτρηση της δύναμης χρησιμοποιούνται πολλοί και διαφορετικοί αισθητήρες. Οι αισθητήρες με πυκνωτές χρησιμοποιήθηκαν ιδιαίτερα στην μελέτη των δυνάμεων που παράγονται κατά την κίνηση των σωμάτων, ενώ επιπλέον χρησιμοποιούνται ακόμα για την μέτρηση των δυνάμεων μεταξύ δύο μαλακών επιφανειών.

Οι επαγωγικοί αισθητήρες τοποθετούνται κυρίως στις σόλες των παπουτσιών για να μετρήσουν τις δυνάμεις στα πέλματα. Όταν τοποθετηθούν σε διάταξη μαζί με πλάκες πίεσης, ελέγχοντας τη δύναμη που ασκείται, μπορούν να αποτυπώσουν την ακριβή θέση του πέλματος πάνω στη διάταξη με μεγάλη ακρίβεια.

Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως για την μέτρηση δυναμικών φορτίσεων. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα σε σύγκριση με άλλους αισθητήρες είναι ότι μπορούν να παραχθούν σε ποικιλία μορφών και να ενσωματωθούν σε διάφορα υλικά.

Τέλος, οι μετρήσεις με strain gauge έδωσαν μια μεγάλη ώθηση στη μέτρηση δυνάμεων σε οργανισμούς αλλά και στον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων βιολογικών υλικών. Με τους αισθητήρες αυτούς ήταν δυνατό να γίνουν μετρήσεις σε εργαστηριακό περιβάλλον των ιδιοτήτων διαφόρων οστών του ανθρώπινου σώματος. Επίσης, ο αισθητήρας αυτός μπορεί να τοποθετηθεί και απευθείας πάνω σε ζωντανούς σκληρούς ιστούς και να λάβει μετρήσεις για τις δυνάμεις που ασκούνται σε διάφορα οστά κατά την εκτέλεση διαφόρων κινήσεων.

Η τοποθέτηση ενός strain gauge είναι ευκολότερο να γίνει πάνω σε οστά, αφού οι τένοντες και οι σύνδεσμοι συνήθως δεν είναι προσπελάσιμοι. Σε κάθε περίπτωση πάντως, χρησιμοποιώντας και ενδιάμεσες διατάξεις, μπορούν να ληφθούν συμπεράσματα για τη δύναμη που ασκούν διάφοροι μύες και για το φορτίο που μεταφέρουν οι τένοντες.

Μέτρηση πίεσης

Η μέτρηση της πίεσης αφορά κυρίως την μέτρηση της κατανομής της πίεσης από μια πλάκα με αισθητήρες. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται με αυτές τις πλάκες πίεσης μπορούν να δώσουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται οι δυνάμεις κατά τη διάρκεια μιας κίνησης.

Γενικά, η εμβιομηχανική έχει εστιάσει σε μεγάλο βαθμό στη μέτρηση της κατανομής της πίεσης στο ανθρώπινο πόδι κατά το βάδισμα ή το τρέξιμο. Αυτό δεν σημαίνει βέβαια ότι δεν υπάρχουν δυνατότητες εφαρμογών σε άλλα μέρη του σώματος.

Οι έρευνες εστιάζουν κυρίως στην μελέτη της χρονικής μεταβολής της πίεσης σε διάφορες περιοχές του πέλματος και για διαφορετικούς τύπους πέλματος. Οι έρευνες αυτές εστιάζουν κυρίως στην εύρεση της χρονικής μετατόπισης του κέντρου των δυνάμεων στο πέλμα.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την αποκρυπτογράφηση της ανθρώπινης κινησιολογίας, αλλά έχουν και εμπορικό ενδιαφέρον. Μεγάλες εταιρίες κατασκευής αθλητικών παπουτσιών, εταιρίες που κατασκευάζουν πέδιλα του σκι, κέντρα αποκατάστασης τραυματών των κάτω άκρων, αλλά και αθλητές και προπονητές, όλοι ενδιαφέρονται να μάθουν τα φορτία κατά την κίνηση του ανθρώπινου σώματος.

Μέτρηση επιτάχυνσης

Η μέτρηση της επιτάχυνσης στο ανθρώπινο σώμα γίνεται συνήθως επαγωγικά, δηλαδή μετρώντας τις ασκούμενες δυνάμεις και γνωρίζοντας τις αντίστοιχες μάζες. Σε κάθε περίπτωση, οι επιστήμονες δεν μπορούν ακόμα να προσδιορίσουν την ακριβή επίδραση της επιτάχυνσης στους βιολογικούς ιστούς.

Παρακάτω βλέπουμε ένα πίνακα που περιλαμβάνει μετρήσεις επιτάχυνσης στο ανθρώπινο σώμα υπό ποικίλες συνθήκες.

Πίνακας 4.1: Μετρήσεις επιτάχυνσης στο ανθρώπινο σώμα.

Κίνηση	Ειδικά σχόλια	Μέγιστη στιγμιαία επιτάχυνση σε [g] σε		
		Κεφάλι	Λεκάνη	Κνήμη
Σκι:				
Μαλακό χιόνι	10 m/s	1	2	4-6
Αγώνας ταχύτητας	10 m/s	2	3	30-60
Αγώνας ταχύτητας	15 m/s	-	-	60-120
Αγώνας ταχύτητας	25 m/s	-	-	100-200
Βάδισμα:		1	1	2-5
Τρέξιμο:				
Πλήρες πέλμα	σε άσφαλτο	1-3	2-4	5-17
Πλήρες πέλμα	σε γρασίδι	1-3	2-4	5-10
Στα δάχτυλα	σε άσφαλτο	1-3	2-4	5-12
Γυμναστική:				
Άλμα από 1,5 m	σε στρώμα 7 cm	3-7	8-14	25-35
Άλμα από 1,5 m	σε στρώμα 40 cm	2	5	8
Περιστροφικό άλμα (somersault)	σε στρώμα 7 cm	3	14	24

(Πηγή: Biomechanics of the musculo – skeletal system, Benno M. Nigg Walter Herzog, Pearson Prentice Hall Bioengineering, 2004, Παράγραφος 3.5.2, Πίνακας 3.5.2, σελ.299)

Μέτρηση παραμόρφωσης

Για την μέτρηση της παραμόρφωσης χρησιμοποιούνται ευρέως τα strain gauges, συνήθως σε διατάξεις που ονομάζονται επιμηκυνσιόμετρα (extensometers). Τα strain gauges χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών και για το λόγο αυτό υπάρχει γενικά αρκετή τεχνογνωσία και εμπειρία στη χρήση τους.

Συνήθως τα strain gauges προσαρμόζονται σε μεταλλικά μέρη, οπότε και η μέτρηση παραμορφώσεων σε τεχνητά μέλη και αρθρώσεις έχει προσφέρει ήδη σημαντικά δεδομένα. Σε κάθε περίπτωση οι αισθητήρες αυτοί θα πρέπει να προστατεύονται από τη διάβρωση και την επαφή τους με βιολογικά υγρά.

Σε περιπτώσεις που θέλουμε να κάνουμε μετρήσεις σε μαλακούς ιστούς, τα strain gauges πρέπει συνήθως να προσαρμοστούν πρώτα σε μεταλλική πλάκα και μετά στο δείγμα. Αυτό κάνει τη μέτρηση δύσκολη και αναξιόπιστη. Γενικά, προσαρμογή των strain gauges σε βιολογικά υλικά είναι από δύσκολη έως αδύνατη, ενώ μπορεί να τραυματίσει και να επηρεάσει τις ιδιότητες μαλακότερων υλικών. Έτσι η χρήση τους περιορίζεται γενικά σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

Άλλες μέθοδοι που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση της παραμόρφωσης ενός βιολογικού υλικού είναι οι οπτικές μέθοδοι. Οι μέθοδοι αυτές γενικά θεωρούνται ότι δεν επηρεάζουν το δείγμα και μπορούν να δώσουν σχετικά ακριβείς μετρήσεις. Στην περίπτωση των ιστών βέβαια, ακόμα και τα σημάδια που τοποθετούνται πάνω στο δείγμα (markers) για να αναπαραστήσουν σταθερά σημεία κατά την επεξεργασία της εικόνας, μπορούν να επηρεάσουν τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού και να μεταβάλλουν την απόκρισή του. Ακόμα και μέχρι σήμερα, η μέτρηση της παραμόρφωσης μαλακών ιστών παραμένει ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα με μικρής ακρίβειας αποτελέσματα.

Οπτικές μέθοδοι

Οπτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συχνά στη μέτρηση της παραμόρφωσης μαλακών ιστών, όπως είδαμε παραπάνω, αλλά κυρίως χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της κίνησης ενός σώματος. Πολύπλοκα οπτικά συστήματα έχουν αναπτυχθεί, ενώ χρησιμοποιούνται και διάφορες υπολογιστικές μέθοδοι για την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν. Γενικά, η ανάλυση των δεδομένων που προκύπτουν θεωρείται αρκετά χρονοβόρα, ενώ τα πειράματα πρέπει να σχεδιάζονται προσεκτικά για να αποφεύγονται λάθος μετρήσεις.

Για την καταγραφή της κίνησης ενός σώματος απαιτούνται δύο διαφορετικά συστήματα. Το πρώτο σύστημα αφορά την κάμερα που θα καταγράψει τις εικόνες. Το δεύτερο σύστημα αφορά τα σημάδια που θα τοποθετηθούν πάνω στο σώμα (markers). Τα σημάδια αυτά είναι πάρα πολύ χρήσιμα αφού για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθεί υπολογιστικός αλγόριθμος που στην πραγματικότητα παρακολουθεί την κίνηση αυτών και όχι ολόκληρου του σώματος.

Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως υψηλής ταχύτητας ή κάμερες που καταγράφουν ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Τα σημάδια μπορεί να είναι από διάφορα υλικά και να έχουν τέτοιες ιδιότητες ώστε να κάνουν δυνατή την καταγραφή της κίνησης υπό τις συνθήκες που επιβάλλονται από το πείραμα. Σε κάθε περίπτωση, καθώς η τεχνολογία προοδεύει συνεχώς, αυξάνονται οι δυνατότητες χρήσης οπτικών μέσων για την πραγματοποίηση μετρήσεων που πριν ήταν αδύνατες.^[4,3]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[4.1] <http://en.wikipedia.org/wiki/>

[4.2] Biomechanics of the musculo – skeletal system, Benno M. Nigg Walter Herzog, Pearson Prentice Hall Bioengineering, 2004, Κεφάλαιο 2.

[4.3] Biomechanics of the musculo – skeletal system, Benno M. Nigg Walter Herzog, Pearson Prentice Hall Bioengineering, 2004, Κεφάλαιο 3.